

# 简介

这一章将要教你如何使用 ZEMAX，这一章的每一节将会让你接触一个不同的设计问题。第一个设计例子是非常简单的，如果你是一个有经验的镜片设计师，你也许觉得它并不值得你去费心，但是，如果你花费一点点时间去接触它，你可以学到如何运行 ZEMAX，然后你可以继续你自己特别感兴趣的设计。

前几个例子中，提供了一些关于镜片设计理论的教程内容，用来帮助那些对专用术语不是很了解的人。但在总体上来说，这本手册，以及其中的这些特例，目的都不是要将一个新手培养成为一个专家。如果你跟不上这些例子，或者你不能理解程序演示时与计算有关的数学知识，可以参考任何一本“简介”这一章中所列出的好书。在开始课程之前，你必须先通过正当手段安装 ZEMAX。

## 课程 1：单透镜（a singlet）

你将要学到的：

开始 ZEMAX，输入波长和镜片数据，生成光线特性曲线（ray fan），光程差曲线（OPD），和点列图（Spot diagram），确定厚度求解方法和变量，进行简单的优化。

---

假设你需要设计一个 F/4 的镜片，焦距为 100mm，在轴上可见光谱范

围内，用 BK7 玻璃，你该怎样开始呢？

首先，运行 **ZEMAX**。**ZEMAX** 主屏幕会显示镜片数据编辑（LDE）。你可以对 LDE 窗口进行移动或重新调整尺寸，以适合你自己的喜好。LDE 由多行和多列组成，类似于电子表格。半径、厚度、玻璃和半口径等列是使用得最多的，其他的则只在某些特定类型的光学系统中才会用到。

LDE 中的一小格会以“反白”方式高亮显示，即它会以与其他格子不同的背景颜色将字母显示在屏幕上。如果没有一个格子是高亮的，则在任何一格上用鼠标点击，使之高亮。这个反白条在本教程中指的就是光标。你可以用鼠标在格子上点击来操纵 LDE，使光标移动到你想要停留的地方，或者你也可以只使用光标键。LDE 的操作是简单的，只要稍加练习，你就可以掌握。

开始，我们先为我们的系统输入波长。这不一定要先完成，我们只不过现在选中了这一步。在主屏幕菜单条上，选择“系统（System）”菜单下的“波长（Wavelengths）”。

屏幕中间会弹出一个“波长数据（Wavelength Data）”对话框。**ZEMAX** 中有许多这样的对话框，用来输入数据和提供你选择。用鼠标在第二和第三行的“使用（Use）”上单击一下，将会增加两个波长使总数成为三。现在，在第一个“波长”行中输入 486，这是氢（Hydrogen）F 谱线的波长，单位为微米。

**ZEMAX** 全部使用微米作为波长的单位。现在，在第二行的波长列中输入 587，最后在第三行输入 656。这就是 **ZEMAX** 中所有有关输入数据的操作，转到适当的区域，然后键入数据。在屏幕的最右边，你可以看到

一列主波长指示器。这个指示器指出了主要的波长，当前为 486 微米。在主波长指示器的第二行上单击，指示器下移到 587 的位置。主波长用来计算近轴参数，如焦距，放大率等等。

ZEMAX 一般使用微米作为波长的单位

“权重 (Weight)” 这一列用在优化上，以及计算波长权重数据如 RMS 点尺寸和 STREHL 率。现在让所有的权为 1.0，单击 OK 保存所做的改变，然后退出波长数据对话框。

现在我们需要为镜片定义一个孔径。这可以使 ZEMAX 在处理其他的事情上，知道每一个镜片该被定为多大。由于我们需要一个 F/4 镜头，我们需要一个 25mm 的孔径（100mm 的焦距除 F/4）。设置这个孔径值，选择“系统”中的“通常 (General)”菜单项，出现“通常数据 (General Data)”对话框，单击“孔径值 (Aper Value)”一格，输入一个值：25。注意孔径类型缺省时为“入瞳直径 (Entrance Pupil Diameter)”，也可选择其他类型的孔径设置。除此之外，还要加入一些重要的表面数据。ZEMAX 模型光学系统使用一系列的表面，每一个面有一个曲率半径，厚度（到下一个面的轴上距离），和玻璃。一些表面也可有其他的数据，我们以后将会讨论到。注意在 LDE 中显示的有三个面。物平面，在左边以 OBJ 表示；光阑面，以 STO 表示；还有像平面，以 IMA 表示。对于我们的单透镜来说，我们共需要四个面：物平面，前镜面（同时也是光阑面），后镜面，和像平面。要插入第四个面，只需移动光标到像平面（最后一个面）的“无穷 (Infinity)”之上，按 INSERT 键。这将会在那一行插入一个新的面，并将像平面往下移。新的面被标为第 2 面。注意物体所在面为第 0 面，然后

才是第 1（标上 STO 是因为它是光阑面），第 2 和第 3 面（标作 IMA）。

现在我们将要输入所要使用的玻璃。移动光标到第一面的“玻璃（Glass）”列，即在左边被标作 STO 的面。输入“BK7”并敲回车键。ZEMAX 有一个非常广泛的玻璃目录可用。所有我们需要做的仅仅是决定使用“BK7”，ZEMAX 会去查找我们所定的玻璃并计算每一个波长的系数。

由于我们需要的孔径是 25mm，合理的镜片厚度是 4mm。移动光标到第 1 面（我们刚才输入了 BK7 的地方）的厚度列并输入“4”。注意缺省的单位是毫米。其他的单位（分米，英寸，和米）也可以。

现在，我们需要为镜片输入每一面的曲率半径值。让我们设想一下，前面和后面的半径分别是 100 和-100，在第 1（STO）和 2 面中分别输入这些值。符号约定为：如果曲率中心在镜片的右边为正，在左边为负。这些符号（+100，-100）会产生一个等凸的镜片。我们还需要在镜片焦点处设置像平面的位置，所以要输入一个 100 的值，作为第 2 面的厚度。

我们怎样才能知道这个镜片是否好呢？也许在镜片设计中，最有用的判断工具是光线特性曲线图。要产生一幅光线特性曲线图，先选择“分析（Analysis）”菜单，然后选择“图（Fan）”菜单，再选择“光线像差（Ray Aberration）”。你将会看到光线特性曲线图在一个小窗口显示出来（如果看到任何出错信息，退回并确认是否所有你所输入的数据与所描述的一致）。光线特性曲线图如图 E1-1 所示。

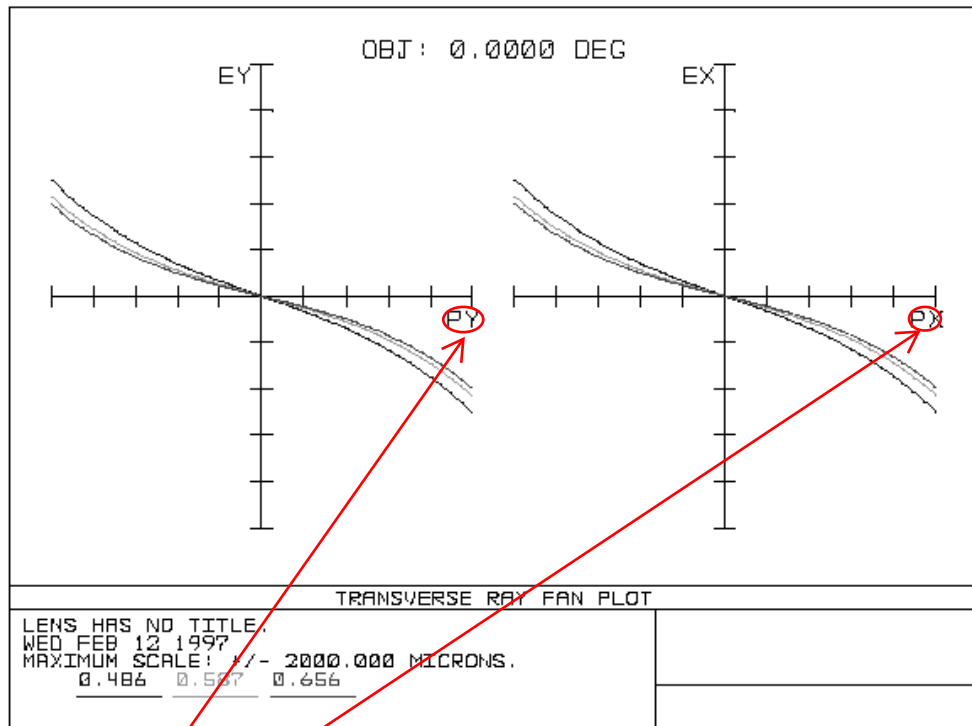


图 E1-1

图形以光瞳坐标的函数形式表示了横向的光线像差（指的是以主光线为基准）。左边的图形中以“EY”代替  $\epsilon Y$ 。这是 Y 方向的像差，有时也叫做子午的，或 YZ 面的。右图以“EX”代替  $\epsilon X$ ，有时也叫做弧矢的，或 XZ 面的。此光学特性曲线表示出了一个明显的设计错误，光线特性曲线通过原点的倾斜表示有离焦现象存在。

为了纠正离焦，我们用在镜片的后面的 Solve 来进行。SOLVES（参考“SOLVES”这一章）动态地调整特定的镜片数据。为了将像平面设置在近轴焦点上，在第 2 面的厚度上双击，弹出 SOLVE 对话框，它只简单地显示“固定（Fixed）”。在下拉框上单击，将 SOLVE 类型改变为“边缘光高（Marginal Ray Height）”，然后单击 OK。用这样的求解办法将会调整厚度使像面上的边缘光线高度为 0，即是近轴焦点。注意第 2 面的厚度会自动地调整到约 96mm。现在，我们需要更新光线特性曲线图看其变化。从

光线特性曲线窗口菜单，单击“更新（Update）”（在窗口任何地方双击也可更新），其光线特性曲线图如图 E1-2 所示。现在，离焦已消失，主要的像差是球差。注意图中比例的改变。

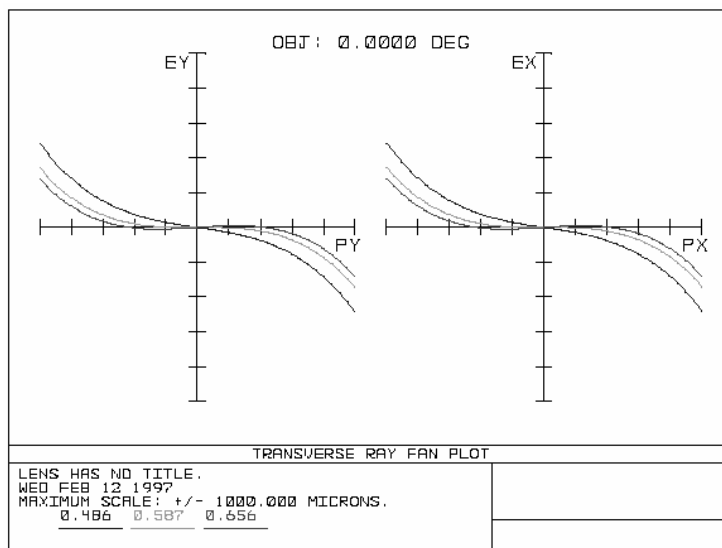


图 E1-2

这是不是所能得到的最佳的设计呢？我们下面就要用优化来完成本设计的工作。首先，我们将告诉 ZEMAX，哪个参量在设计中是自由的（这些被称为变量），然后我们将告诉它设计的要求（这些被称为目标（Targets）或操作数（Operands））。有三个变量可以供我们利用，它们是：**镜片的前、后曲率，和第二面的厚度**，这些变量可以用离焦来补偿球差。将光标移到第 1 面的半径这一列，然后按 Ctrl-Z（如果你喜欢用菜单界面，单击“半径”，然后选择 SOLVES，再从 LDE 菜单中选变量“Variable toggle”；你也可以在“半径”上双击，得到一个下拉的选择列，其中包括了变量状态）。注意，出现“V”表示一个可变的参量。按 Ctrl-Z 与菜单的功能相同。再在第 2 面半径以及第 2 面的厚度上设置变化的标志，。第 2 面的厚度变化时，它的值会复盖（overrides）先前用求解定出的值。

现在我们需要为镜片定义一个“评价函数（Merit Function）”。评价函数从数学理念上指出什么样的镜片是好的。评价函数就象是高尔夫球赛的得分，分数越低越好。一个理想的镜头（对于一个指定的应用）它的评价函数的值应为0。

为了定义评价函数，从主菜单中选择“编辑（Editors）”菜单下的“评价函数”。出现一个与LDE类似的电子表格。从这个新的窗口的菜单条上，选择“工具（Tools）”菜单下的“缺省评价函数”。再在出现的对话框中，点击Reset，然后OK。你最终将会明白这些操作的功能，但现在你只需接受缺省值。ZEMAX很擅长于决定一个和合理的缺省评价函数。

ZEMAX已经为你构建了一个缺省的评价函数，它由一系列的可以使得RMS波前差最小的追迹光线组成。但这并不够，因为除了使弥散斑尺寸最小外，我们还需要使镜头的焦距为100mm。如不限定镜头的焦距，ZEMAX会很快地发现，设定焦距无穷大（镜片相当于一个窗玻璃）会得到很好的波前像差。

**在第一行中的任何一处单击鼠标，使光标移动到评价函数编辑的第一行，按下INSERT键插入新的一行。**现在，在“TYPE”列下，输入“EFFL”然后按回车。此操作数控制有效焦距。移动光标到“Target”列，输入“100”然后按回车。其“权重（Weight）”输入一个值：1。这样我们就完成了评价函数的定义，你可以在窗口的左上角双击，将评价函数编辑器从屏幕中移走，评价函数不会丢失，ZEMAX会自动将它保存。

现在从主菜单条中选择“工具”菜单下的“最佳化（Optimization）”，会显示最佳化工具对话框。注意“自动更新（Auto Update）”复选框。如果这个

选项被选中，屏幕上当前所显示的窗口（如光学特性曲线图）会按最佳化过程中镜头的改变而被自动更新。在该复选框中单击选择自动更新，然后单击“自动（Automatic）”，ZEMAX会很快地减少评价函数。单击“退出（Exit）”关闭最佳化对话框。

最佳化的结果是使镜片弯曲。结果所得出的镜片曲率使得焦距大致为 100mm，并且使这个简单的系统具有了一个尽可能小的 RMS 波前差。ZEMAX 也许不会很确切地将焦距优化到 100mm，因为 EFL 限制是一个被看作与其他的像差一样的“权重”目标。

我们现在可以用光线特性曲线图来研究计算结果。最佳化的设计结果的最大的像差约为 200 微米，如图 E1-3 所示。

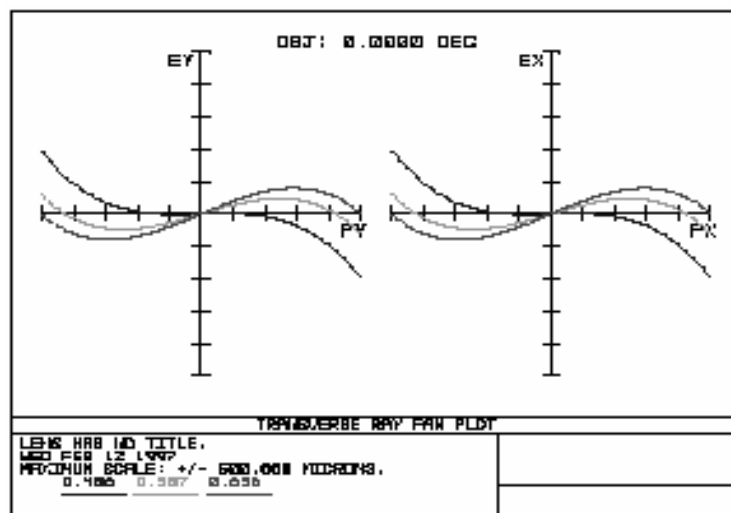
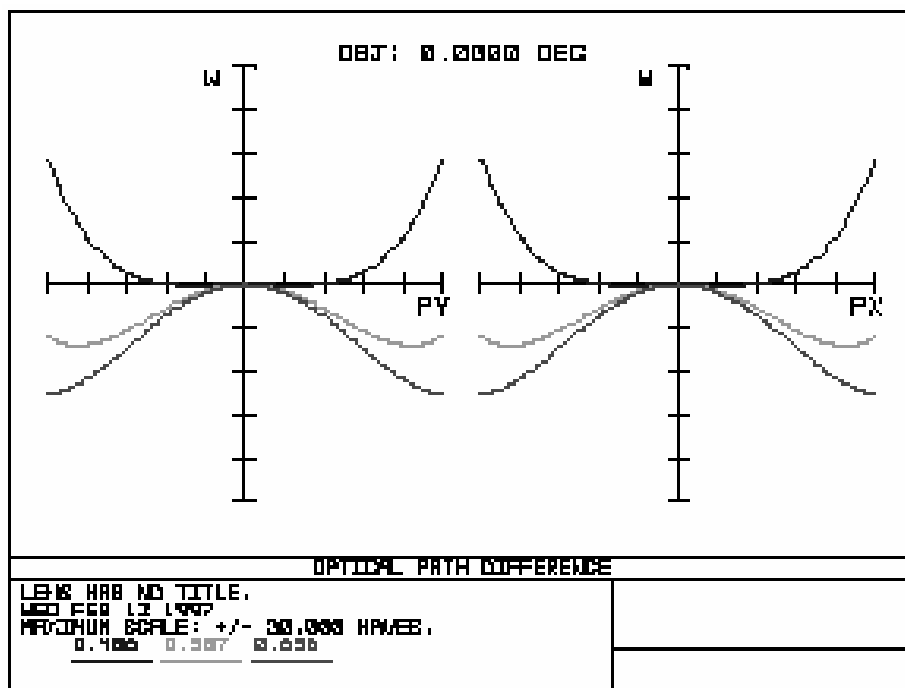


图 E1-3

衡量光学性能的另一个方法的是产生一个点列图。为了得到点列图，选择“分析”菜单下的“点列图”选项，然后选其中的“标准（Standard）”。点列图将会显示在另一个窗口中。此点列图的弥散大小是400微米。作为比较，艾利（Airy）衍射斑的大小粗略地约为 6微米。

另一个有用的判断工具是OPD图。这是以光瞳坐标为函数的光程差（以主光线为基准）分布图，它的光瞳坐标与光学特性曲线图中相同。为了看OPD图，选择“分析”菜单下的“图”，再选择“光程（Optical Path）”。你可以参考图E1-4中的OPD图。这个系统中有大约20个波长的波像差，大部分为焦面上的，球差，色球差和轴上色差。

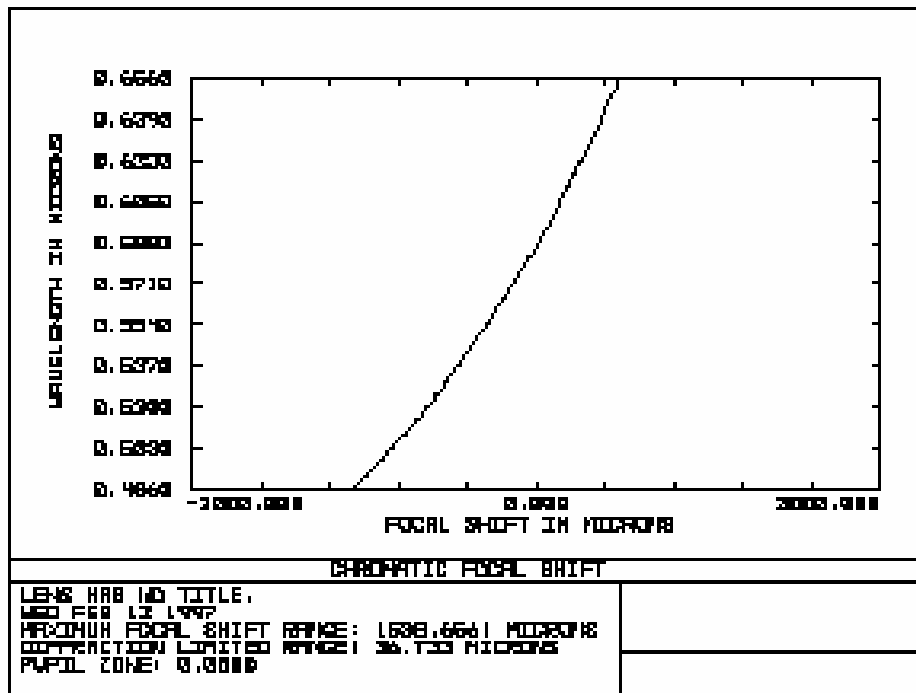


图E1-4

你大概会意识到，当波像差约等于或小于四分之一波长时，镜片要考虑“衍射极限”（可参考有关此概念的更为详细的讨论）。显然，我们的单透镜并没有达到衍射极限。为了提高此光学系统（或任何光学系统）的性能，设计者必须判断哪一种像差限制了其性能，以及什么操作可以用来改正。从光线图（图E1-3）中，可较明显地看出，色差（Chromatic aberration）是其主要像差。（另一方面，它可能不明显，可再看其他的一些能够提供有关光线图的建议的好书。）

ZEMAX为一阶色差的大小提供了另外一种简便的工具：多色光焦点

漂移图。这种图形把焦距作为一种波长的函数，它指出了近轴焦点的变化。为了得到多色光焦点漂移图，选择“分析”菜单中的“多方面（Miscellaneous）”，然后再选“多色光焦点漂移（Chromatic Focal Shift）”。



图E1-5

可以参考图E1-5。注意纵坐标表示波长范围，覆盖了所定义的波段，焦距的最大变化范围约为1540微米。对于单透镜镜片来说，其曲线的单调变化类型是很典型的。

为了修正一阶多色差，要求有另外一种玻璃材料。这导出了我们的下一个例子，即双透镜的设计。如果你想保存此镜片以用来作为以后的评估，选择“文件（File）”菜单下的“另存为（Save as）”选项，ZEMAX会提醒你输入一个文件名。任何一个以这种方式保存的镜头都可以通过选择“文件”菜单下的“打开（Open）”选项来调用。要退出ZEMAX，请选择“文件”菜单下的“退出（Exit）”。

---

## 课程 2：双透镜（a doublet）

你将要学到的：产生图层和视场曲率图，定义边缘厚度解，定义视场角。

---

一个双透镜包括两片玻璃，通常（但不一定）是胶合的，因此它们有一个共同的曲率。通过使用两片具有不同色散特性的玻璃，一阶色差可以被矫正。也就是说，我们需要得到抛物线形的多色光焦点漂移图，而不是直线的。这反过来会产生较好的像质。现在，我们保持先前100mm焦距和在轴上的设计要求，我们下面将会加入视场角。

如何选择这两片玻璃需要一些技巧，参考Smith的《现代光学工程学（Modern Optical Engineering）》里有关的例子。由于此例的目的是教你如何使用ZEMAX，而不是如何设计镜片，我们这里只建议选择BK7和SF1这两种

STARTING PRESCRIPTION FOR DOUBLET EXAMPLE

Surf	Radius	Thickness	Glass
OBJ	Infinity	Infinity	
STO	100.000000 V	3.000000	BK7
2	-100.000000 V	3.000000	SF1
3	-100.000000 V	100.000000 V	
IMA	Infinity		

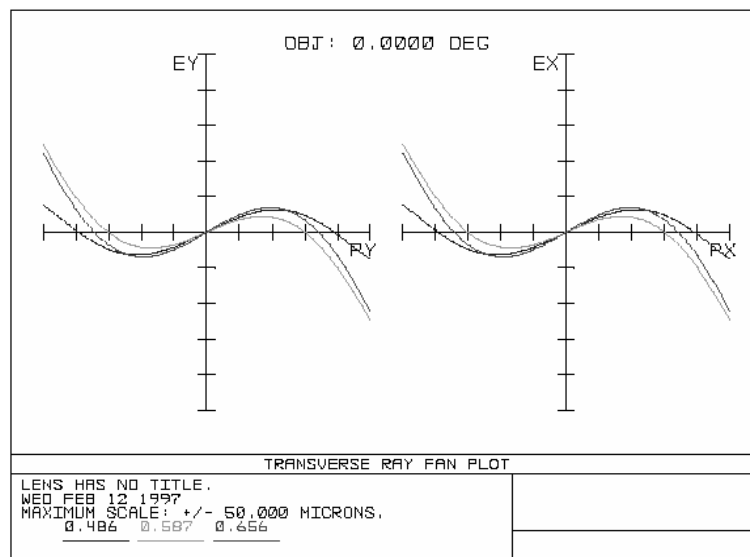
种玻璃。如果你已完成了刚才的例子，且单透镜镜片仍然被装载着，你不需要重新输入设计的波长。否则，请按照前面例子所述的方法输入波

长和孔径。现在必须插入新的面，直到你的LDE窗口看上去象下面的表格。不是所有的列都会被显示出来。如果你需要移动光阑的位置以使第一面成为光阑面，可以通过双击你所要使之成为光阑面的那一行的表面类型列，然后选择“Make Surface Stop”按钮。

因为在BK7和SF1这两种介质中没有空隙，这是一个胶合透镜。ZEMAX自己不会模拟胶合镜片，它只能简单地模拟使两片玻璃相接触。

如果你在先前的例子中，仍然保留了评价函数，那么，你就不需要重新创建评价函数。否则，请重新创建一个评价函数，包括EFFL操作数，如前一个例子所描述的。

现在，从主菜单下选择“工具”-“最佳化”，单击“自动”。评价函数会开始减小，等它停止后单击“退出”。显示多色光焦点漂移图，看看我们是否已有了一些提高（如果你的屏幕上还没有准备好，选择“Analysis”，“Miscellaneous（各种的）”，“Chromatic Focal”）。它应该与图E2-1类似。



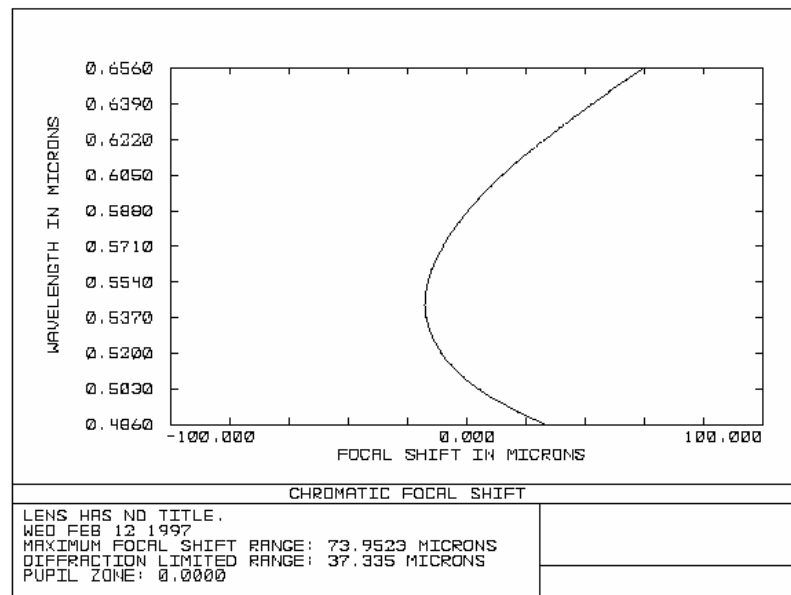
图E2-1

我们现在已经减小了色差的线性项，二阶色差占了优势，因此如抛

物线形状所示。请注意多色光焦点漂移量减少为74微米（单透镜为1540微米）。

还有另外的玻璃选择可以产生较好的设计。要看ZEMAX玻璃目录中的其他玻璃类型，选择“Tools”，“Glass Catalogs”。浏览完目录后单击“Exit”。

现在，通过在光学特性曲线窗口中选择“Update”更新光学特性曲线图（如果光学特性曲线窗口没有显示出来，则在主菜单中选择“Analysis”，“Fans”，“Ray Aberration”）。图如E2-2所示。



图E2-2

最大的横向光学像差已经被减小到约20微米。这对于单透镜在200微米处来说是一个质的提高。注意光学特性曲线图原点处的斜率对于每一个波长是大致相同的，这表示每一个波长相对离焦也是很小的，但是斜率不为0。这隐含了离焦被用来平衡球差的意思。有S形弯曲的光学特性曲线是典型的用离焦平衡球面镜片的例子。

现在我们已经设计了一个具有较好的性能特征的镜片，镜片看上去

怎么样呢？选择“Analysis”，“Layout”，“2D Layout”，让我们来看看一个简单的镜片的二维剖面图。图形显示如图E2-3所示。

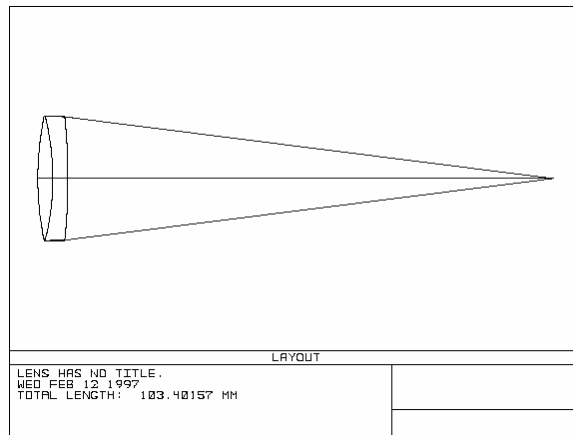


图 E2-3

图中显示了从第一面到像平面（缺省值，也可设成其他值）的镜片，同时还有三条（缺省情况下）主波长光线从每个视场到像平面。这三条光线分别为入瞳——本例中也就是第1面——的上边缘、中心和底部的光线。很明显，第1个镜片有较尖的边缘。根据图形很难说出边缘厚度是正的或负的。而且，如果镜片尺寸稍微大一点会更好。这样可使镜片的实用清晰孔径会比口径要小，会给诸如抛光和装配等提供边缘空间。

我们可以通过考虑这些因数来提高设计。为了决定实际的边缘厚度，可将光标移动到第一面的任意一列（例如，在LDE中有“BK7”字样处单击）。现在选择“Reports”，“Surface Data”，将会出现一个窗口，告诉你该面的边缘厚度。所给出的值是0.17，稍偏小。

在我们修整偏小的边缘厚度之前，我们将先将镜片放大。移动光标到第一面的半口径“Semi-Diameter”列，键入“14”替代所显示的12.5，ZEMAX会消去12.5并显示“14.000000U”。“U”标志着这个孔径是用户自定义的。如果“U”没有显示，表示ZEMAX允许此孔径可随要求定义。你可以键入Ctrl-Z

来取消“U”标志，或在半口径上双击，并为求解类型选择“Automatic”。作了这些改变后，选择“System”，“Update”更新孔径值。14这个值为半口径，表示全口径为28mm。同样，在第二面和第三面中也输入14。

更新图层。现在孔径已经被放大了，但第一个边缘厚度是负的！更新表面数据窗口查看新的边缘厚度，它会变成一个负数。为了得到一个更为合理的边缘厚度，我们可以增加中心厚度。但是还有一个更有用的保持边缘厚度为一个特定值的方法。

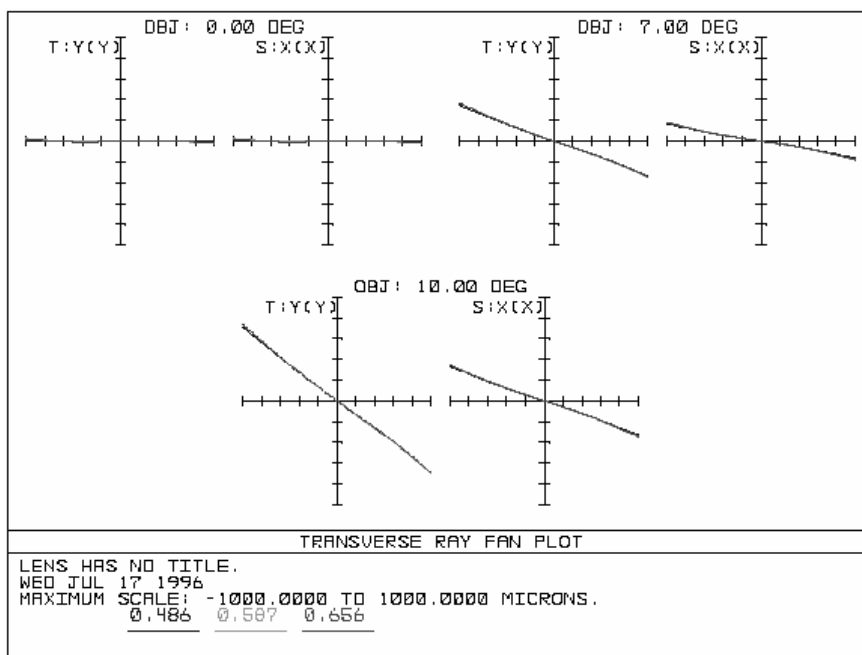
假设我们需要保持边缘厚度在3mm，在第一面的厚度列中双击，会出现“Solve Control”屏幕，从所显示的求解列表中选择“Edge thickness”，两个值会被显示，一个是“厚度（Thickness）”，一个是“半径高（Radial Height）”。设厚度为3，半径高为0（如果半径高是0，ZEMAX使用所定义的半口径），然后单击“OK”。在LDE中，第一面的厚度已被调整过，字母“E”显示在框中，表示此参量为一个活动的边缘厚度解。

再次更新表面数据窗口，边缘厚度3会被列出。你也可以选择“System”，“Update All”一次性更新所有的窗口。这将会刷新图层和光学特性曲线图。通过调整厚度，我们已对镜片的焦距作了一点改变。如果你喜欢，现在可以看一下光学特性曲线图。然后，再进行最佳化（选择“Tools”，“Optimization”，然后选“Automatic”）。最佳化后，单击“Exit”，然后选择“System”，“Update All”，再一次刷新图形。

现在我们来测试双透镜的离轴特性。从主菜单选择“System”，“Field”得到“Field Data”对话框，单击第2和第3行的“Use”选择3个视场。在下面的视场列的第2行，输入7（即7度），在第3行输入10。使对于轴上的第1行

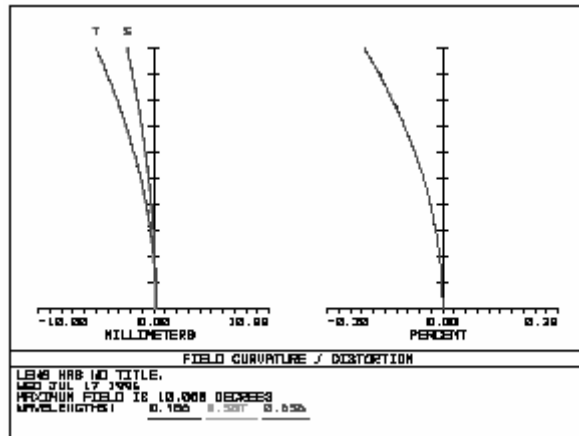
保持为0，使x视场的值也为0，因为一个旋转对称系统，其x视场的值很小。单击OK关闭对话框。

现在选择“System”，“Update All”（系统，更新），光学特性曲线（rayfan）图显示在图E2-4中，你所得的也许会有点不同，还要看你在设置了求解（SOLVE）后是如何重新优化的。



图E2-4

从这些图中所看到的，镜头的轴外特性是很差的，原因是我们只对轴上特性进行了优化。现在是什么像差限制了我们的呢？可以来分析光学特性曲线图，判别出场曲是主要像差。此像差可以通过场曲曲线图来估计。选择“Analysis”，“Miscellaneous”，“Field Curv/Dist”，场曲曲线如图E2-5所示。



图E2-5

注意左图表示出了近轴焦点的漂移为一个关于视场角的函数，而右图则表示了有以近轴光线为基准的实际光线的畸变。场曲曲线图上的所有信息都可从光学特性曲线图中得到，场曲曲线与光学特性曲线图中的斜率成比例。

在校正视场弯曲时是有技巧的，实际上，球差和彗差也同样如此。这些技巧在Smith的《Modern Optical Engineering》中也有提及。

### 课程 3：牛顿望远镜（a Newtonian telescope）

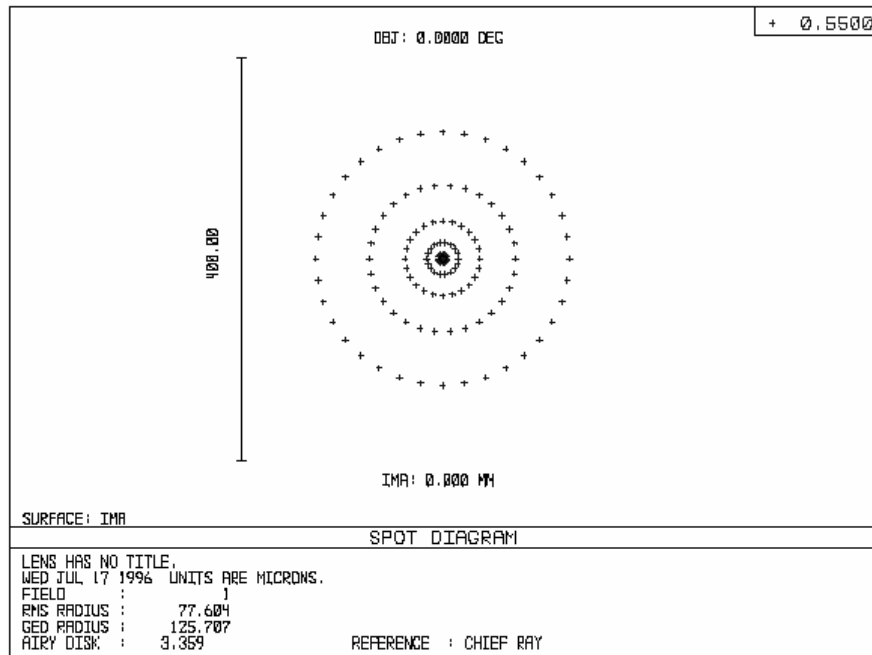
你将要学到的：使用反射镜，圆锥常量，坐标中断，三维图形，暗化。

如果你已经通过了前面两个例子，你可以继续一个比较复杂的设计了。

牛顿望远镜是最简单的用来矫正轴上像差的望远镜，而且它对于阐明ZEMAX的一些基本操作非常有用。首先，牛顿望远镜是由一个简单的抛物线形镜面组成的，而且除此之外别无它物。抛物线很好地矫正了所有阶的球差，由于我们只将望远镜使用在轴上系统，所以根本就没有其他的像差。为了重新开始，先关闭除了LDE外的所有窗口，选择“File”，“New”。

假设我们需要一个1000mm F/5的望远镜，这暗指需要一个曲率半径为2000mm的镜面，和一个200mm的孔径。移动光标到第一面，即光阑面的曲率半径列，输入-2000.0，负号表示为凹面。现在在同一个面上输入厚度值-1000，这个负号表示通过镜面折射后，光线将往“后方”传递。现在在同一面的“Glass”列输入“MIRROR”，选择“System”，“General”，然后在“通用数据对话框（General Data Dialog Box）”中输入一个200的孔径值，并单击“OK”。

ZEMAX使用的缺省值是波长550，视场角0，这对于我们的目标来说是可接受的。现在打开一个图层窗口，光线显示了从第一面到象平面的轨迹，此时象平面在镜面的左边。如果你现在演示一个标准的点列图（拉下“Analysis”菜单，选择“Spot Diagrams”，再选“Standard”或键入“Ctrl-S”），你将会看到一幅RMS 为77.6微米的点列图。评定像质的一种较为简便的方法是将艾利（Airy）衍射斑加到点列图的顶部。进行此操作，可从点列图的菜单条选择“Setting”，在“Show Scale”选项中选择“Airy Disk”，然后单击“OK”，所得的点列图如图E3-1所示。



### E3-1

所列的RMS点的尺寸是77.6微米，光线并没有达到衍射极限的原因是我们还没有输入圆锥常量。我们原先所输入的2000这个曲率半径只是定义了一个球形，我们需要一个锥形常量-1来定义抛物线。在第一面的“Conic”列输入-1，敲回车，现在选“System”，“Update”菜单项刷新所有的窗口，在更新后的点列图上，你可以看到有一小簇的光线在六角环带的中心，RMS点尺寸是0。

很不幸，这个高像质的图象所处的位置并不好。由于像处在入射光路的光程中，图象无法接收。这通常在主镜面后安放一个转折光线用的反射面来调整，反射镜面以45度的角度倾斜，将像从光轴上往外转出来。为了使用转折面，我们首先必须定下它该安放在哪儿。由于入射的光束为200mm宽，我们所需要的像平面至少要离开光轴100mm。我们选择200mm，因此折叠镜面必须距主反射面有800mm。

先从改变第一面的厚度着手，将之改为-800mm。现在移动光标到像

平面，按Insert在主面与像平面之间插入一个虚构的面。新的面很快会被转换为折叠面。虚构面的作用只是简单地用来安放折叠镜面。

在新的虚构面上输入一个-200的厚度值，保持镜面到像平面的总距离为-1000.0。

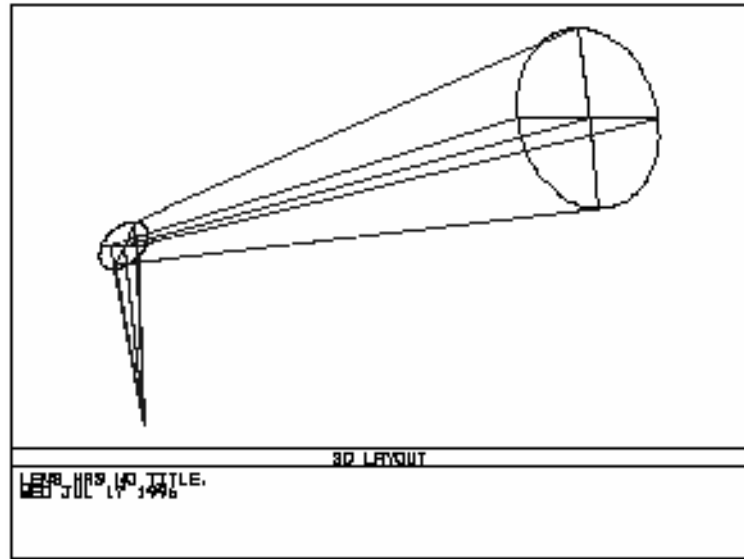
现在单击“Tools”，“Add Fold Mirror”，然后设置“Fold Surface”为2，单击“OK”，

PRESCRIPTION FOR NEWTONIAN TELESCOPE EXAMPLE

Surf	Surface Type	Radius	Thickness	Glass	Conic	Tilt About X
OBJ	Standard	Infinity	Infinity		0.00000	
STO	Standard	-2000.000	-800.000	MIRROR	-1.00000	
2	Coord Break		0.000			45.00000
3	Standard	Infinity	0.000	MIRROR	0.00000	
4	Coord Break		200.000			45.00000
IMA	Standard	Infinity			0.00000	

所得的电子表格会被显示出来，而且会与下表相似（为了清楚起见，有些列已被省略）。

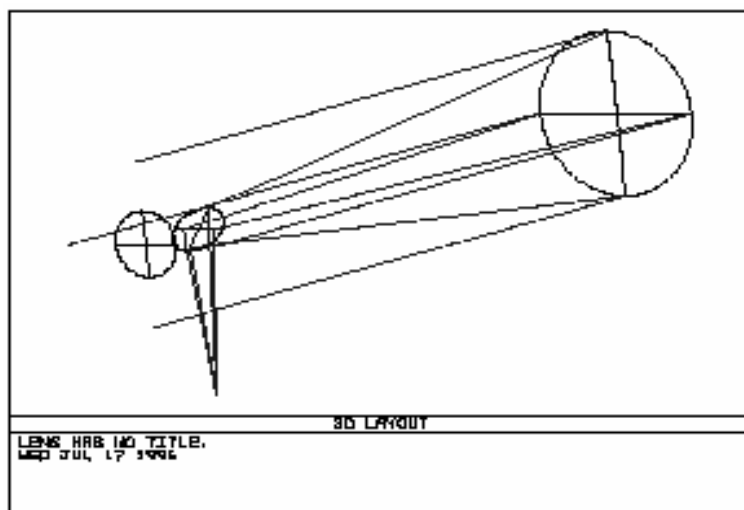
现在我们可以看看我们的新的折叠式牛顿反射镜系统。先前所使用的图将不再起作用（它只对旋转对称系统起作用），取而代之的是3维图形，可通过“Analysis”，“Layout”，“3D Layout”菜单来得到。一旦三维图形显示出来，即可用左、右、上、下、Page Up和Page Down键来控制图形的旋转。ZEMAX允许图形的交互式旋转。图E3-2显示了一种可能的投影。



E3-2

这个设计投影图可用多种方法完善。首先，光线从物体到镜面可被显示出来。还有，落在折叠镜面后面的光线应该被拦去，且不允许它落在像平面上。这对于真正的系统来说，是非常重要的，因为光线在通常的光学系统中，不可能物理地穿过反射镜。

首先，我们将光标停在第一面，在光阑前加入一个虚构的面。现在使得虚构面的厚度为900mm，双击第一面的“Standard”，在对话框中为孔径类型选择圆形遮拦（“Circular Obscuration”），在光束中安放一个“遮拦（Obscuration）”，这样就考虑到了折叠反射镜阻挡了一些光束。为“最大半径（Max Radius）”输入40，然后单击OK，再更新3维图。系统现在如图E3-3所示，看上去更为实际。如果不是所有的表面都是可见的，选择“Setting”，然后将第一面和最后一面的选项分别改为1和6，或单击“Reset”，然后按“OK”。



E3-2

此处描述的过程，就是所有使用折叠反射镜所要注意的。坐标断点除了反射镜以外，也可用在TIP、倾斜和偏心光学部件上。完整的光学部件可以被移动，可参考ZEMAX所附带的一些设计举例。

---

## 课程 4：带有非球面矫正器的 施密特—卡塞格林系统 (Schmidt-Cassegrain)

你将要学到的：使用多项式的非球面，遮挡，孔径，求解，优化，图层，MTF 图。

---

这一课是一个带多项式非球面矫正器施密特—卡塞格林系统 (Schmidt-Cassegrain) 的完全设计。设计的使用范围为可见光谱。我们将采用10英寸的孔径，10英寸的后焦距（从主镜的后面到焦点）。由于只有矫

正板和主反射面，进行这个设计是比较简单的，因此我们开始时先在光阑后插入两个面。选择“SYSTEM”，“GENERAL”，输入10作为孔径值。在同一个屏幕上，将单位“毫米（Millimeters）”改为“英寸（Inches）”。

选择“SYSTEM”，“WAVELENGTHS”，得到“波长数据”屏幕，设置3个波长：486，587，和656，其中587为主波长。这些步骤可以用一个操作来完成：单击波长对话框底部的“选择（Select->）”按钮。

现在，我们将使用缺省的视场角0度，在下表的表格中输入数据。光阑被放在主面曲率半径的中心，这是为了排除视场像差（如彗差），它是Schmidt设计的特点。

STARTING PRESCRIPTION FOR SCHMIDT CASSEGRAIN

Surf	Radius	Thickness	Glass
OBJ	Infinity	Infinity	
STO	Infinity	1.000000	BK7
2	Infinity	60.000000	
3	-60.000000	-30.000000	MIRROR
IMA	Infinity		

现在演示一下图形以验证一切是否就绪。标准的2维图形将会很好地工作，你将会看到如图E4-1所示的图形。

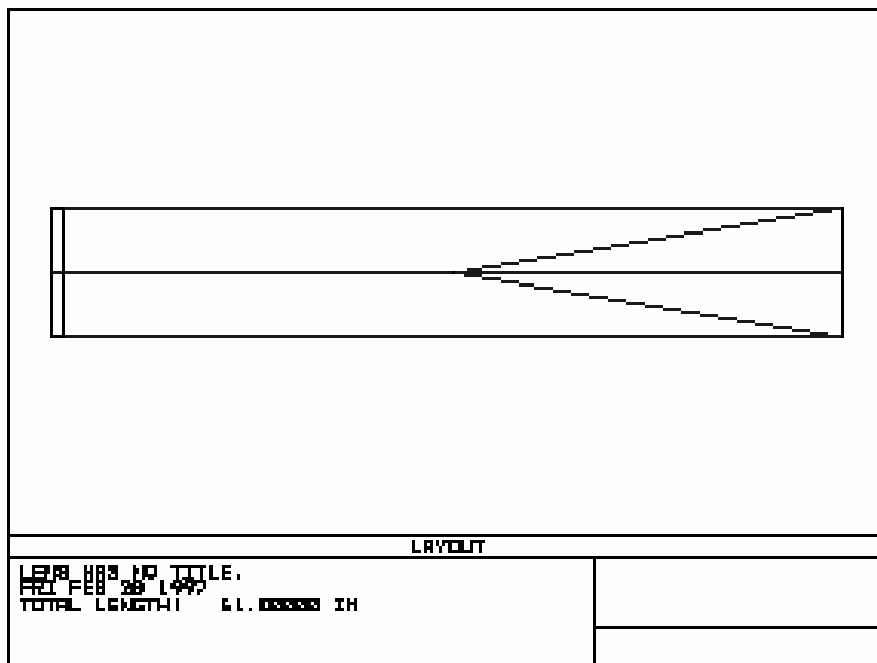


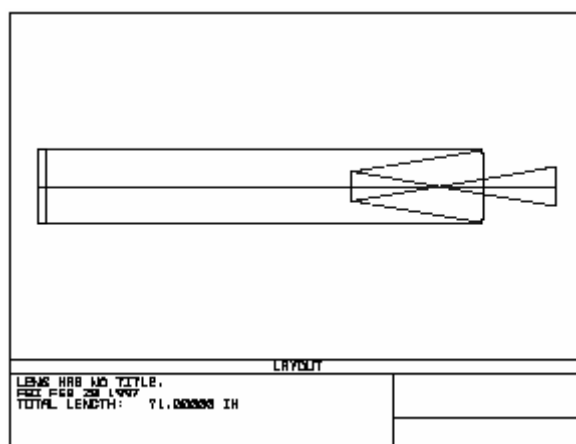
图 E4-1

现在我们将加入辅助镜面，并安放像平面。我们以后将让ZEMAX为辅助面计算恰当的曲率。现在修改表格，使之如下表所示的以表达一个新的面。

INTERMEDIATE PRESCRIPTION FOR SCHMIDT CASSEGRAIN

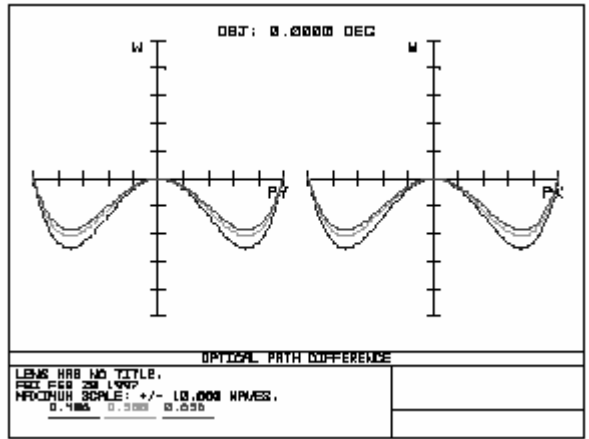
Surf	Radius	Thickness	Glass
S OBJ	Infinity	Infinity	
S TO	Infinity	1.000000	BK7
2	Infinity	60.000000	
3	-60.000000	-18.000000	MIRROR
4	Infinity V	28.000000	MIRROR
I MA	Infinity		

注意我们已将主反射面的距离减小到-18，这将使辅助镜面的尺寸减小。像平面的距离现在是28，实际上，是在主反射面后10英寸。第四面的半径已经被加入了一个变量标记，我们将让ZEMAX去找寻恰当的曲率。由于还没有输入任何的曲率，像并不清晰。更新图层，检查你的工作，它应该如图E4-2所示。



E4-2

现在选择“Editors”，“Merit Function”显示评价函数编辑从评价函数编辑窗口菜单中选“Tools”，“Default Merit Function”，单击“Reset”，然后改变“Rings”选项为“5”，单击OK，RINGS选项决定光线的采样密度，此设计要求大于缺省的3。选“Tools”，“Optimization”，选“Automatic”，评价函数很快将下降到约1.3。这是剩余的RMS波差。单击“Exit”，然后选择“SYSTEM”，“UPDATE ALL”，辅助镜面的半径已经从“Infinity”被改为-41.83。现在选择“ANALYSIS”，“FANS”，“OPTICAL PATH”演示OPD图，OPD图显示离焦和球差，如图E4-3所示。



E4-3

注意大约有4个波长的像差仍然有待改正。现在单击第一面（光阑面）的“STANDARD”表面类型，从所显示的对话框选择“EVEN ASPHERE”。这种面型允许为非球面校正器指定多项式非球面系数。单击OK，在第一面向右移动光标直到“4th Order Term”列，键入Ctrl-Z。这样就给这个参数设置了一个变量标记，当前为0。也在“6th Order Term”和“8th Order Term”上设置变量标记。现在选择“Tools”，“Optimization”，再单击“Automatic”。几秒钟后，评价函数将会下降，这是由于ZEMAX平衡了高阶球差。单击“Exit”。

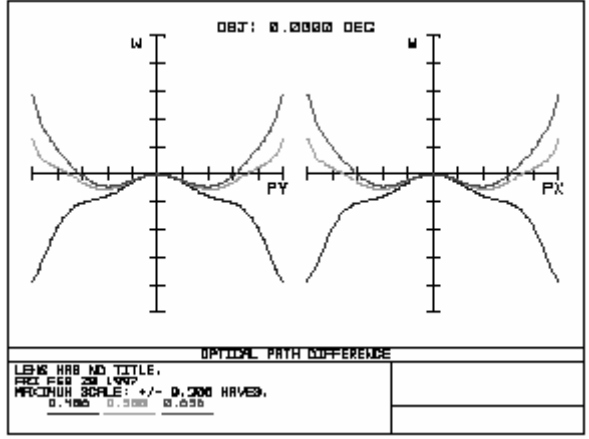


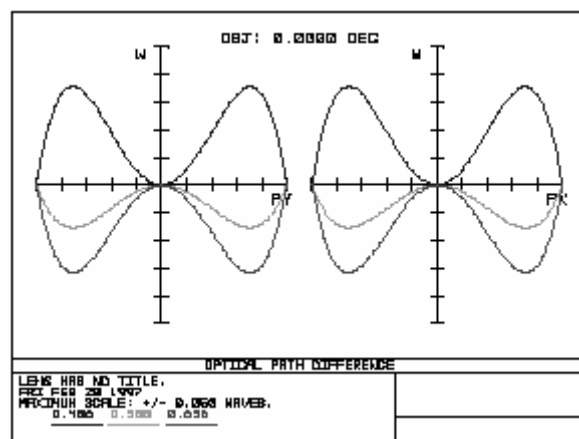
图 E4-4

现在再次更新OPD图，显示如图E4-4。球差已经大体上被减小。注意现在的约束像差为色差，每一个波长值有不同数量的球差。这被称为色

球差，我们将很快改正它。

这里要求有一点经验以完成我们所需要的设计，为了矫正色球差，我们需要用轴上色差来平衡它。这是一个常用的设计方法，即在同一种像差中，用低阶像差来平衡高阶像差。这里，色球差是一阶轴上色差的高阶分量。为了引入轴上色差，我们将改变第一面，即校正器的前面的曲率（这也使校正板Plate易于装配，其原因我们此处不作讨论）。

现在设置第一面的半径为变量，再次优化（Tools, Optimization, Automatic）。评价函数将会再次下降。现在单击EXIT，更新OPD图，图形如图E4-5所示。



图E4-5

这是我们所要求的解决方法，剩余的像差比1/20的波长还要小！现在我们可以打开视场角，调整设计。从主菜单，选SYSTEM, FIELDS, 并将视场角的个数设置为3，输入 $\gamma$ -角0.0, 0.3和0.5度。

如果你现在更新并查看OPD图，你将会在全视场看到大约1/2波长的彗差，我们只要再优化就可以很容易地改正它。因为我们已改变了视场，我们必须重新创建评价函数。这是非常重要的一点！你必须鉴别缺省的评价函数是建立在你所定义的波长和视场基础上的，如果你改变这些值，

你必须重新创建评价函数。

在评价函数编辑时，选Tools， Default Merit Function， 并将RINGS改为4，单击OK。

现在选 Tools， Optimization， 然后单击 Automatic， 当已聚集后，单击EXIT， 再次更新 OPD 图， 图显示如图 E4-6， 已是一个很好地平衡了像差的设计。

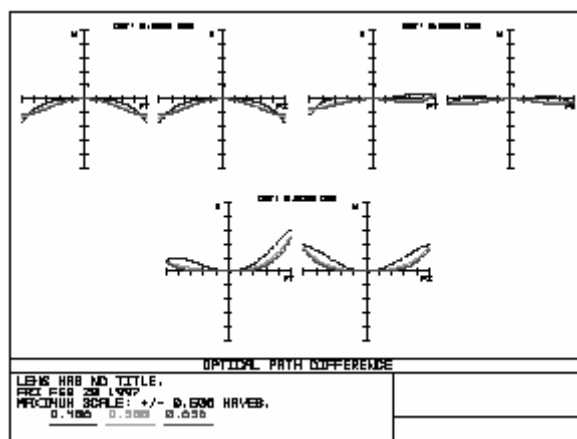
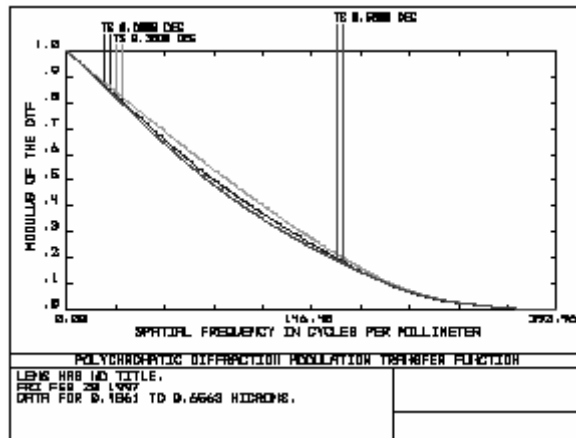


图 E4-6

假设我们将要用这个望远镜来拍摄。我们可能会对调制传递函数（MTF）感兴趣，它指明了像的对比是空间频率（通常以毫米的倒数为单位）的函数。要看MTF图，可从主菜单中选择Analysis, Diffraction, Modulation Transfer Function。MTF显示如图E4-7所示。



图E4-7

MTF图是一种非常有用的分析工具。图中显示了所有已给定视场的切向和径向的响应。但是，图中仍然有些错误。一个有知识的设计者会认识到，所显示的数据是一个圆形光瞳的自相关。真正的问题所在是我们还没有说明系统中的这几个通光孔径和遮挡，存在着由辅助镜面引起的遮挡，并且，在主反射面上还有一个缺口。如果我们加入这些影响，性能会减低，特别是在中间的空间频率方面。

要改正这个分析时的缺点，返回到LDE，双击第三面的第一列，从孔径类型列中选圆形“Circular Aperture”，到Min Radius中输入1.7。这表示所有的光线穿过表面时离轴距离必须要大于1.7英寸，这就是主反射面的缺口“Hole”。将“Max Radius”改为6。

辅助镜面上的遮挡较为复杂，在光学上它需要被放置在辅助镜面前面。由于ZEMAX是按顺序地追迹光线的，我们必须将它放置在主反射面前。做起来要比解释它容易得多，所以要有一点信心，努力进行下列步骤。

当仍然在第三面时，按下 Insert 键，在校正面和主反射面之间键插入一个新的面。将新面（即第 3 面）的厚度从 0 改为 20。往上

移一行，将第 2 面的厚度由 60 改为 40。对于主反射面来说，校正器与它的距离现在就是 60，我们已经简单地加入了一个中介面。在第 3 面的第 1 列上双击，将孔径类型设为“Circular Obscuration”，并将“最大半径（Max Radius）”（不是最小）设为 2.5，然后单击 OK。再将第 3 面的半口径定为 2.5。现在更新图形。如果你正确地进行了这些步骤，你将会看到如图 E4-8 所示的图形。在遮挡器和辅助镜面之间的小缝隙纯粹是很小的一点。这种方式更容易被看到。如果你愿意，可以将它移到辅助镜面的上面。

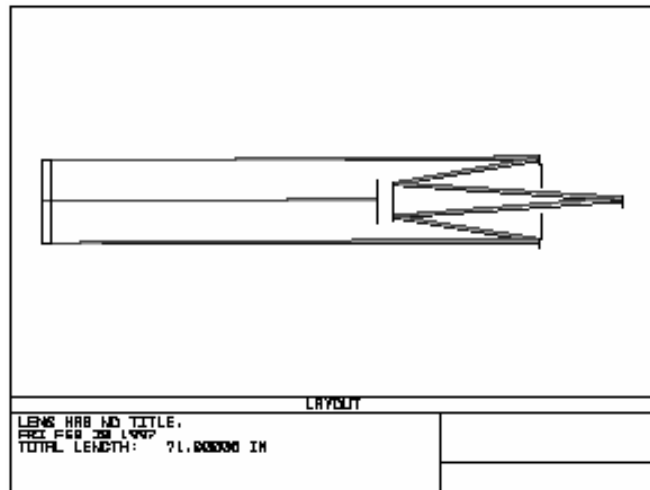


图 E4-8

MTF现在已被主要是辅助镜面产生的遮挡所改变。更新MTF窗口，看一下新的MTF，显示如图E4-9。

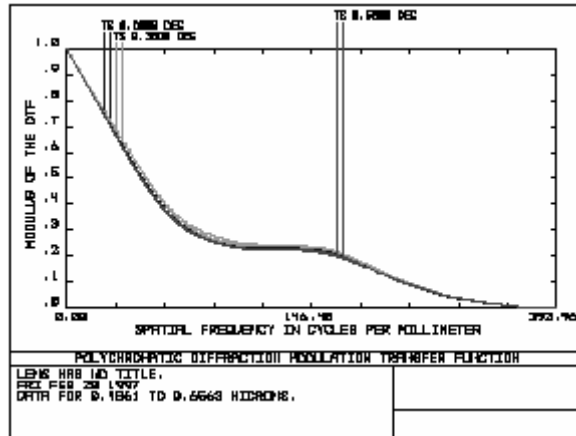


图 E4-9

## 课程 5: 多重结构配置的激光束扩大器 (a multi-configuration laser beam expander)

你将要学到的: 使用多重结构配置的性能

这个例子假设你已经掌握了ZEMAX的操作，并已理解了如何执行基本的判断法，如光学特性曲线图和OPD图等。

假设你需要设计一个激光光束扩展器，使用的波长为 $\lambda=1.053\mu$ ，输入光束直径为100mm，输出光束的直径为20mm，且输入光束和输出光束平行。如果全长没有限制，这个设计是比较容易的，但是为了使之变得复杂一点，我们将加上几条限制条件：

- 1) 只使用两片镜片。
- 2) 设计必须是伽利略式的（没有内部焦点）。

- 3) 在镜片之间的间隔必须不超过250mm。
- 4) 只允许使用1片非球面。
- 5) 系统必须在  $\lambda = 0.6328$  时测试。

设计任务涉及到的不仅仅是改善像差，还需要两个不同的波长。但是，系统不是同时在两个波长处使用的。因此，我们可以在测试时移动共轭面。设计前先运行ZEMAX，插入几个面，并给它们设好变量，知道你的镜片数据编辑器看上去如下表所示。注意“Glass”列右边的好几列才是“Focal Length”列。表头“Focal Length”只在你将表面类型从“Standard”改变为“Paraxial”后才会显示。不是所有的列都会清楚地显示出来。

STARTING PRESCRIPTION FOR LASER BEAM EXPANDER

Surf	Surface Type	Radius	Thickness	Glass	Focal Length
OBJ	Standard	Infinity	Infinity		
STO	Standard	Infinity V	10.000	BK7	
2	Standard	Infinity V	250.000		
3	Standard	Infinity	5.000	BK7	
4	Standard	Infinity V	10.000		
5	Paraxial		25.000		25.000
IMA	Standard	Infinity			

注意近轴镜片的使用是为了有平行光能到焦点。将厚度和焦距都设为25.00，并把入瞳直径设为100，波长（一个）设为1.053微米，不要输入任何其他的波长。

镜片厚度是任意设定的，但要符合我们的目标。250mm是由第3条要求得来的。现在选“Editors”，“Merit Function”，评价函数应该是空的，只显示一个“BLNK”（即Blank，意思是未被使用）操作数。在第一行，将操作数类型改为“REAY”，这个真实的Y约束将会被用来控制所要求的5:1的光束压缩比。为“Srf#”输入5（这是我们所要控制光高的面），为“Py”输入1.00，

在再输入一个目标值10，这会给我们一个20mm直径的平行输出光束。在“Weight”中输入一个1.0的值，再选“Tools”，“Update”，你将会看到在Value列里出现一个50的值。这只是入瞳的半径，因为我们在这一点上只有平行平板。

现在从Editor菜单条中选Tools， Default Merit Function。再选Reset，然后将Start At域的值改为2，再单击OK。这会使操作数从电子表格的第2行开始添加，以便保护已输入的REAY操作数不被遗失。

现在从主菜单条选 Tools， Optimization，然后单击 Automatic。当优化完成后，单击 Exit。再从主菜单选 Analysis， Fans， Optical Path，你将会看到如图 E5-1 所示的 OPD 图。大约有 7 个波长的波差，性能较差。

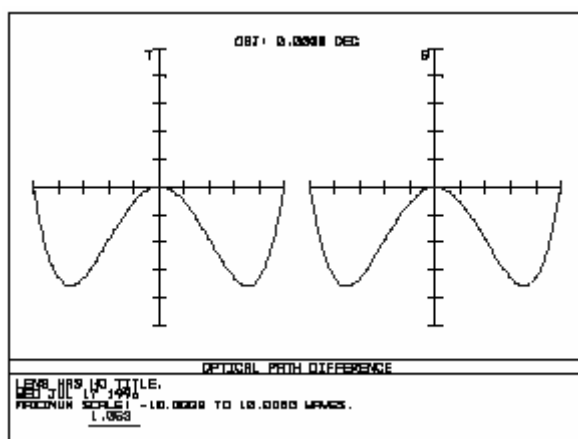


图 E5-1

主要像差是球差（ZEMAX已加入了离焦作为补偿），幸运的是，我们有一种非常有效的排除球形的方法。移动光标至第一面的圆锥系数列，键入Ctrl-Z使之成为一个变量。返回到优化工具单击Automatic，评价函数会显著下降。现在单击Exit，更新OPD图，由于引入了一个合理的圆锥系数很容易地使系统性能达到了衍射极限。在三个曲率和圆锥系数的每一格中键入Ctrl-Z 以小消除变化。

在我们深入进行之前，先选**File, Save As**保存文件，为镜片输入名字：**MC1.ZMX**，单击**OK**。在接下来的步骤中，如果出错，你也可以再将它打开。确认你已将3个曲率和锥形上的变化除去。

选**System, Wavelengths**，得到波长数据对话框，将波长从**1.053**改为**0.6328**，单击**OK**，再次更新OPD图。由于玻璃的色散，性能非常差。所显示的像差明显离焦。

我们可以调整镜片间隔来改正它。使第2面的厚度**250mm**为可变，然后选**Tools, Optimization**，你将会看到只有一个变量列表。选**Automatic**，评价函数应该会降低。单击**Exit**，然后更新OPD图，系统在新的波长和共轭处有大约一个波长的像差。再次键入**Ctrl-Z**去掉第2面的厚度变量。

我们现在将用多重结构配置功能。从主菜单选**Editors, Multi-configuration**，选**Edit, Insert Config**插入一个新的结构配置，双击第一行的第一列，从所显示的下拉框选择**WAVE**，在同样的对话框里，为“**Wavelength #**”选择**1**，单击**OK**。这使得我们可以为每一个配置定义不同的波长。在“**Config 1**”下输入**1.053**，在“**Config 2**”下输入**.6328**。现在按**Insert**为**Multi Configuration Editor**加入新的一行，在新的第“**1**”行的双击第一列，然后选**THIC**作为操作数类型。**THIC**操作数可让我们为每一个配置定义不同的厚度。从**Surface**列选**2**，单击**OK**，在**Config 1**下输入**250**，在**Config 2**下输入**250**。其中的**2**指的是第二面，因此我们已将第二面的厚度作为多重结构配置值定义了。键入**Ctrl-Z**，使结构配置**2**下的第二面的厚度成为变量。

现在返回到评价函数编辑器。选**Tools, Default Merit Function**，在显示的对话框中，将**Start At**的值改为**1**，这会使得缺省的评价函数从第一行开

始。现在单击OK，将为多重结构配置实例重建评价函数。

现在需要将原先输入的REAY约束加入新的多配置评价函数中。在评价函数编辑器的第一行，注意在“CFG#”列有一个写着1的CONF操作数，此操作数将当前活动的结构配置改变为1。在这一行的下面，有3个OPDX操作数。在CONF和第一个OPDX间，插入新的一行，将该行的操作数类型改为REAY，为“Srf#”输入5（这是我们来控制光线高度的一面），为Py输入1.00。输入目标值10，将会使我们得到直径为20mm的平行输出光束。任何在CONF 1下的操作数都将被限制在此配置中。在CONF 2下，不需要任何的操作数，因为在两个波长处都已有了5:1的光束压缩比。

现在回到镜片数据编辑器，使第1、2和4面的曲率为变量，就象本节开始时所述的。再将第一面的圆锥系数也设为变量。选Tools, Optimization到优化屏幕，注意共有5个变量被激活（3个曲率，1个锥形，一个多重结构配置厚度），现在单击Automatic，结束后单击Exit。

现在双击多配置编辑器的Config 1列头，更新OPD图，注意其特性在波长1.053处非常好。双击Config 2列头，更新OPD图（这一次为.6328处）。同样也被很好地修正了。注意多重结构配置编辑器显示的为两个波长设置的两个厚度。键盘快捷键Ctrl-A可用来在这两个配置之间快速地切换。

多配置可能有复杂得多的应用，但步骤是一样的。

---

## 课程 6：折叠反射镜面和坐标断点（fold mirrors and coordinate breads）

你将要学到的：更好地理解坐标断点，为倾斜和偏心系统设立的符号约定，反射镜面的应用。本教程中描述的大部分技巧都用“Add Fold Mirror”工具自动完成，并提供了坐标断点的手册条目的详细解释。

---

先前的课程中讲述了如何设计一个牛顿望远镜，那一课中介绍了反射镜面和坐标断点概念，该课的重点为：

- 1) 厚度在经过一个镜面后总是会改变符号。经过奇数面的镜面后，总厚度应该是负的。此符号的约定与镜面的数量或坐标断点的存在无关。
- 2) 坐标断点通常成对出现，并夹在反射面中间。

本课将会告诉你如何在会聚光束中手动加入折叠反射镜面。先从File菜单选New清除当前所有的镜片数据。New功能会将视场的数量设为1，波长数量也为1，以符合我们的目标。在镜片数据编辑器（LDE）窗口，显示三个面：OBJ，STO，和IMA，也即第0，1和2面。在表面类型列上双击，然后用从下拉列表中选Paraxial的方法将STO面的类型改为近轴镜片，将STO面的厚度设为100，这是近轴镜片的缺省焦距。然后，选System，General，在弹出的对话框里输入孔径值20（这会产生一个F/5镜片）。单击OK关闭对话框。现在选Analysis，Layout，3D Layout执行一次3D图形。你将会看到左边出现一个平面，光线集中在右边的一个焦点上。任何光学

系统都可用来产生会聚光束，为简单起见用一个近轴镜片表达。

现在我们加入单个反射镜面使会聚光束方向向上。反射镜面的初始位置的方向为45度。假设我们需要反射镜面离开近轴透镜30mm的距离，就要求有3个新的镜面：一个坐标断点使坐标系统转45度，一个反射镜面，还有另外一个使反射光旋转45度。关键的一点是：这三个面都要求使用一个单反射镜面来实现。

要加入三个表面，在像面行上任何一处单击，使光标重新定位，按Insert键3次，将第1面（STO面）的厚度改为30，在第3面的玻璃列输入MIRROR，再将第4面（IMA前一面）的厚度改为-70。注意70是负的，因为经过奇数面的镜面后厚度符号改变。

现在更新3D图形窗口。图会被重画，你将看到从焦点发出的光，落在镜面上，再反弹回离近轴透镜左边40mm的焦点上。反射镜面没有被倾斜。要使反射镜面倾斜45度，可双击第2和4面的表面类型列，将这些面改为坐标断点，并从下拉列表中选Coordinate Break。向右滚动屏幕（用光标键或LDE底部的滚动条）直到出现参量列。在第2和4面上会有一系列的0。单击第4面的Parameter 3列，出现列头显示“Tilt About X”。在该格上双击（确信你是在第4面上），在下拉列表中选Pickup作为一种求解（Solve）类型，设From Surface为2，Scale Factor为1.0。这会使第二个坐标断点旋转始终与第一个保持同样的旋转角。单击OK。注意在表格的值旁有个“P”，表明是从求解（pickup solve）中得到的。现在移到第2面，在“tilt about x”列里输入45。从主菜单选System, Update All，你将看到如图E6-1所示的图形。

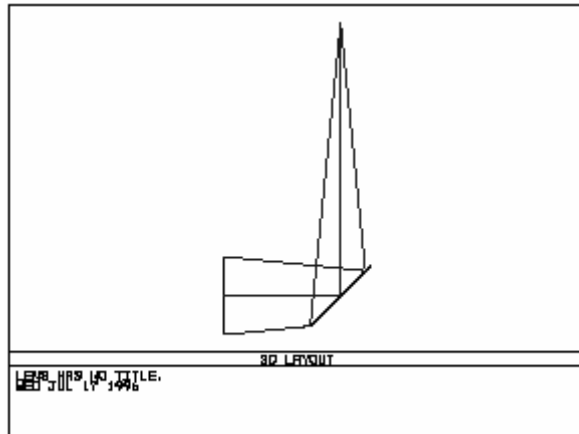
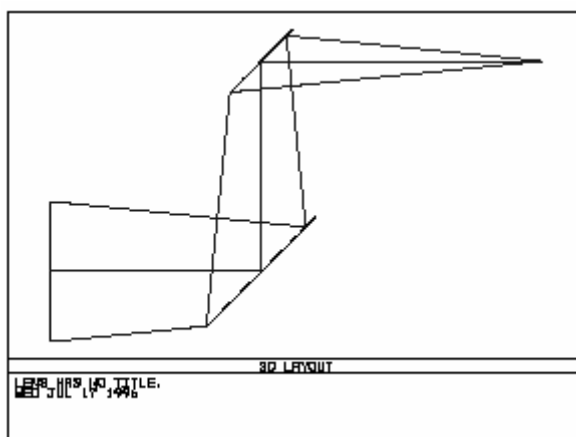


图 E6-1

注意近轴镜片的厚度为30，位于第一个坐标断点的旋转顶点。坐标断点的厚度是0，表示反射镜面是在同一点上。但是，坐标断点已将坐标系旋转了45度。镜面本身是不旋转的，只有它所在的坐标系，才被旋转。镜面的厚度为0，因为我们在移到下一个面前，要旋转另一个45度。第二个坐标断点先旋转另一个45度，然后向焦点移动-70个单位。注意所有的倾斜和偏心处理应在厚度改变之前。

要实现另一个反射镜面，单击像面使光标落在那儿，按Insert 键3次。将第四面的厚度从-70改为-30，第6面的玻璃改为MIRROR，第7面的厚度改为+40（再次注意经过镜面后符号的改变），再将第5和7面的表面类型改为坐标断点，在第5面对X轴倾斜中输入-45度。在第7面的对X轴的倾斜（tilt about x）上双击，在此参量上安放一个pick up solve。求解（pick up）是从第5面得到的，比例因子为1。更新3D图层，应该如图E6-2所示。



E6-2

第2系列的break-mirror-break系统将光束再转90度，因此它仍然与初始光轴平行。由于我们已在每一系列中加入了“pickup solves”，就可很容易地通过改变2个数字将光束倾斜。试着在第2和5面的“tilt about x”中输入30和-60，然后选System, Update All可看到3维图上的影响。

---

## 课程 7：消色差单透镜

你将要学到的：附加数据编辑器，用二元光学表面优化。本课中介绍的功能只能用在 ZEMAX-EE 中。本课假设你已成功地完成了课程 1 和课程 2，并知道如何执行基本操作，如定义波长和孔径等。

---

如果你只设计过折射光学系统，你也许不相信有这样一种叫做“消色差单透镜”的东西。当然，一个反射镜面可以消色差，但是也可以设计一个用来矫正一阶色差的折射/衍射混合组件。其技巧就是使用一个一面蚀

刻着衍射表面的折射单透镜。单透镜上两面的曲率产生大部分光焦度，而弱衍射组件为玻璃色散提供足够的色散补偿。

回顾一下，一个焦距为  $f$  的单透镜镜片的屈光度为  $f^{-1}$ ，光焦度在波长  $\lambda_F$ - $\lambda_C$  范围内的变化由组成单透镜的玻璃的阿贝常数 (Abbe数)  $V$  给出：

$$\Delta\phi = \frac{\phi}{V}.$$

出：

注意色散对于大多数玻璃来说都比较小，例如，BK7的值为64.2。因此光焦度的变动一般为总光焦度的2%左右。

衍射光学采用在波前相位上直接操作，将光学光焦度加到光束上的方法。对于一个有着二次相位轮廓的衍射表面，相位值由下式给出：

$$\psi = Ar^2$$

其中， $A$ 的单位是弧度每单位长度的平方， $r$ 为径向的坐标。用下式

$$\phi = \frac{\lambda A}{\pi}.$$

的相位轮廓可很容易地表示表面的光焦度：

注意表面光焦度是随着波长线性地变化的！在衍射单透镜的屈光度以2%变动的同一个波长范围内，衍射光学光焦度变动近40%。而且，色散的符号可通过改变常数 $A$ 的符号来调整。只要在折射元件中加入少量正光焦度就很容易利用这个特性，再在衍射元件中加入一个小量的负光焦度来补偿。所加的总屈光度可选择使轴上色差平衡。

要看这个过程如何简单，运行ZEMAX，选File, New, 然后在LDE中双击Standard, 从表面类型的下拉列表中选Binary 2, 单击OK, 将标准STO面

改为Binary 2。下移光标到IMA行按Insert键，再加一个面。将新加入的面的厚度改为100，将第1面（STO面）的厚度改为10。在第1面的玻璃类型中输入BK7，然后选System，General，然后输入孔径值20，单击OK。最后，选System，Wavelengths，输入3个波长：486，587和656。以587为主波长。

首先我们将看到如果我们设计一个平凸透镜，该特性有多么大的好处。键入Ctrl-Z，使第1面的半径成为变量。然后选Editors，Merit Function。在MFE中选Tools，Default Merit Function，缺省的是可以的，所以单击OK。关闭MFE窗口。

现在选Tools，Optimization，单击“Automatic”，它将被拉下。单击Exit，选Analysis，Fans，Optical Path，图会被显示，图上有8个波长的像差。注意轴上色差完全支配此设计的质量，另外还有相当大的球差和离焦。

上面的结果对于一个简单的平凸透镜是最好的。为了改善设计，选Editors，Extra Data，在EDE中为“Max Term#”输入1，“Norm Aper”输入10。键入“Ctrl-Z”使第三列中的“Coeff on P<sup>2</sup>”成为变量。现在从主菜单选Tools，Optimization，它将会显示2个变量（第一个半径和衍射屈光度）。单击Automatic，由于ZEMAX使用衍射光焦度矫正轴上色差，所以评价函数时很快地下降，单击Exit，退出。

现在选System，Update All，OPD图会重画，其最大像差大约为1个波长。主要保留的是二级光谱和球差。这些球差怎么样处理呢？我们可以用高阶的衍射项来矫正它。返回EDE，将最大项数改为2，使新的四阶项为变量，重新优化。更新OPD图，看到波前像差变得很好了，在1个波长以下。

衍射光学对光学设计者有特别的作用。带有衍射元件的系统有可能比纯折射系统更轻便，性能更高。但是，这些可见光谱中用的衍射光学元件是非常难于制造的，而且还带有比常规光学系统更严重的散射损失。